

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****PRIORITY  
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 13 OCT 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 15 593.7

**Anmeldetag:** 05. April 2003

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG,  
70567 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Abgasnachbehandlungseinrichtung und  
-verfahren

**IPC:** F 01 N, B 01 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. März 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wallner

DaimlerChrysler AG

Ulla Bonn  
28.03.2003Abgasnachbehandlungseinrichtung und -verfahren

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Abgasnachbehandlung für mobile Anwendungen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 11.

5

Für die Nutzung von Kraftfahrzeugen mit Otto- und insbesondere Dieselmotoren ist die Einhaltung entsprechender gesetzlicher Emissionsvorschriften unabdingbar. In diesem Zusammenhang wird die katalytische NO<sub>x</sub>-Reduktion mit Wasserstoff als vorteilhaft angesehen. Diese katalytische Entfernung von Stickoxiden aus den Verbrennungsabgasen von Kraftfahrzeugen wird unter Einsatz von Wasserstoff an geeigneten Katalysatoren nach der Reaktion  $2\text{NO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  durchgeführt.

Bei einem Teil der bekannten Verfahren zur Entfernung von Stickoxiden nach der NO<sub>x</sub>-Reduktion wird der für die Reaktion benötigte Wasserstoff im Fahrzeug mitgeführt, z.B. über Drucktanks, Flüssig-Wasserstofftanks oder Metallhydridspeicher. An diesem Verfahren ist nachteilig, dass für die Wasserstoffmitführung große, schwere Behälter benötigt werden, die darüber hinaus eine eng limitierte Kapazität aufweisen, so dass kurze Nachfüllintervalle notwendig sind.

In der EP 537 968 A1 ist eine Vorrichtung zur katalytischen Reduktion von Stickoxiden in Abgasen von Kraftfahrzeugen unter Zufuhr von Wasserstoff bekannt. Die Wasserstoffherzeugung erfolgt an Bord des Kraftfahrzeugs durch partielle Oxidation oder Reformierung von Methanol an einem entsprechendem Katalysator. Das Aufheizen der Katalysatoren erfolgt dadurch, dass sie in dem heißen Abgasstrom des Motors angeordnet sind.

Aus der DE 101 20 097 A1 ist eine Abgasreinigungsanlage in einem Fahrzeug mit einem Reformierungsreaktor zur Extraktion von Wasserstoff aus Kraftstoff bekannt, bei welcher der Wasserstoff einem Abgasstrom einer Abgasleitung einer Brennkraftmaschine stromauf eines Abgaskatalysators zuführbar ist. Der Reformierungsreaktor weist eine Zuführeinrichtung für Sauerstoff und/oder Wasser auf und ist mit einem Nebenzweig der Abgasleitung verbunden, wobei Sauerstoff und Wasser zur Reformierung in Form eines Abgasteilstroms über den Nebenzweig zuführbar sind.

Um die Anordnung der jeweiligen Komponenten zur Abgasreinigung in den vorgenannten Patentdokumenten realisieren zu können, muss ein entsprechender großer Bauraum für die Abgasnachbehandlungsvorrichtung vorgesehen werden, die daher relativ unhandlich ist.

Aufgabe der Erfindung ist daher die Angabe eines Verfahrens bzw. einer Vorrichtung zur Abgasnachbehandlung, mit welcher sich eine Bauraumoptimierung im Hinblick auf eine kompaktere Bauweise realisieren lässt.

Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung einer Abgasnachbehandlungseinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie eines Abgasnachbehandlungsverfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 11.

Die erfindungsgemäße Abgasnachbehandlungseinrichtung mit einer Reformierungseinheit zur Erzeugung von Wasserstoff durch Wasserdampfreformierung, partielle Oxidation von Kohlenwasserstoffen und/oder Mischformen davon zeichnet sich dadurch aus, dass die Reformierungseinheit direkt im Hauptabgasstrom eines Verbrennungsmotors angeordnet ist. Der für die Reformierung notwendige Wasserdampf und Restsauerstoff stammen bevorzugt aus dem Abgas. Die Bereitstellung der erforderlichen Reduktionsmittel besteht darin, die vorwiegend mager betriebene Verbrennungseinrichtung, deren Abgas nachbehandelt wird, kurzzeitig auf Fettbetrieb umzustellen, wodurch eine Refor-

mierung mittels erfindungsgemäßem Reformierungsreaktor mit den im Abgas vorhandenen Kohlenwasserstoffen ermöglicht wird. Hierzu sind bereits verschiedene spezifische Maßnahmen zur Steuerung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses, auch kurz als  
5 Luftverhältnis  $\lambda$  bezeichnet, vorgeschlagen worden, siehe z.B. die Offenlegungsschriften EP 0 560 991 A1 und DE 196 26 835 A1.

10 In der Reformierungseinheit findet unter Anwesenheit von Restsauerstoff eine exotherme partielle Oxidation bzw. unter Abwesenheit von Sauerstoff eine endotherme Dampfreformierung statt. Die Kombination beider Prozesse, die eine ausgeglichene Wärmebilanz kennzeichnet, bezeichnet man als autotherme Reformierung. Der Reformierungsreaktor kann ferner auch als  
15 sogenannter autothermer Reformierungsreaktor, kurz ATR-Reaktor, betrieben werden.

Bei der Reformierung werden die Kohlenwasserstoffe im Abgas im wesentlichen in ein CO- und H<sub>2</sub>-haltiges Gasgemisch (Synthesegas) umgewandelt. Die hier vorliegenden Reduktionsmittel  
20 Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und/oder unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) werden im weiteren zur Reduzierung von Stickoxiden eingesetzt.

25 Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren zur Abgasnachbehandlung erlauben durch den Einsatz eines Reformierungsreaktors bzw. einer Reformierungseinheit im Abgasvollstrom eine Optimierung der Synthesegasausbeute im Fettbetrieb, welche in äußerst vorteilhafter Weise zu einer  
30 Verbesserung der NO<sub>x</sub>- und Schwefel-Regeneration der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren sowie zu einer Reduzierung der auftretenden HC-Emissionen führt. Zusätzlich kann die NH<sub>3</sub>-Ausbeute im Fettbetrieb auf dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator optimiert werden.

35

Ein zyklischer Fettbetrieb kann entweder innermotorisch (z.B. Kraftstoffnacheinspritzung in den Brennraum des Verbrennungs-

motors oder Androsselung), durch eine Sekundäreinspritzung in den Abgasstrom vor dem Reformierungsreaktor und/oder durch eine Kombination von beidem realisiert werden. Im Fettbetrieb anfallendes  $\text{NO}_x$  wird unter den Bedingungen der Reformierung weitgehend reduktiv abgebaut.

5 Im Magerbetrieb verhält sich der Reformierungsreaktor wie ein im Abgasbereich üblicher Oxidationskatalysator, der im sauerstoffreichen Abgas die gasförmigen Emissionen ( $\text{HC}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ) reduziert. Um einen schnellen Kaltstart zu ermöglichen, kann  
10 die Reformierungseinheit mit einer Beheizungsfunktion, z.B. elektrisch, mittels Flammglühkerze, etc., ausgestattet sein.

Optional kann gemäß Anspruch 9 nach der Reformierungseinheit eine Abgasrückführung vorgesehen sein. Im Fettbetrieb ( $\lambda < 1$ )  
15 kann somit Reformat der motorischen Verbrennung zugeführt werden. Dies führt in vorteilhafter Weise zu einer Verminderung der Rohemissionen und gleichzeitig zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch.

20 In einer Weiterbildung nach Anspruch 2 ist im Hauptabgasstrom stromab der Reformierungseinheit der mindestens eine Abgaskatalysator angeordnet, der bevorzugt ein  $\text{NO}_x$ -Speicher-  
katalysator ist, welcher bei Durchströmung mit magerem Abgas dem Abgas Stickoxide durch Speicherung entzieht und  
25 bei Durchströmung mit reduzierendem Abgas durch Reduktion der gespeicherten Stickoxide  $\text{N}_2$  erzeugt. Zusätzlich kann durch die Wahl geeigneter Betriebsparameter  $\text{NH}_3$  erzeugt werden. Des Weiteren ist stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicher-  
katalysators mindestens ein weiterer Abgaskatalysator angeordnet, der bevorzugt ein  
30 SCR-Katalysator ist, welcher im Abgas enthaltene Stickoxide unter Verwendung von  $\text{NH}_3$ , welches mittels Stickoxidspeicher-  
katalysator erzeugt wurde, reduziert bzw. überschüssiges  $\text{NH}_3$  einspeichert und danach im Magerbetrieb als Reduktionsmittel zur Verfügung stellt.

35

In einer Ausgestaltung nach Anspruch 3 ist im Hauptabgasstrom stromab der Reformierungseinheit der mindestens eine Abgaskat-

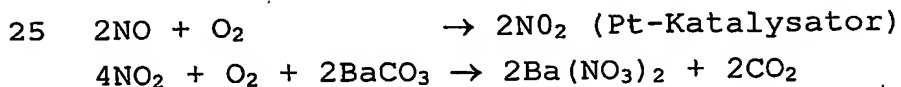
talysator angeordnet, der bevorzugt ein SCR-Katalysator ist, welcher im Abgas enthaltene Stickoxide unter Verwendung von  $\text{NH}_3$ , welches mittels Stickoxidspeicherkatalysator erzeugt wurde, reduziert. Ferner ist stromab des SCR-Katalysators mindestens ein weiterer Abgaskatalysator angeordnet, der bevorzugt ein  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator ist, welcher bei Durchströmung mit magerem Abgas dem Abgas Stickoxide durch Speicherung entzieht und bei Durchströmung mit reduzierendem Abgas durch Reduktion der gespeicherten Stickoxide  $\text{N}_2$  erzeugt.

Der Einsatz von Stickoxidspeicherkatalysatoren, auch als  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysatoren oder  $\text{NO}_x$ -Adsorberkatalysatoren bzw. abgekürzt als NSK bezeichnet, ist zur nachmotorischen Stickoxidminderung bei mager betriebenen Brennkraftmaschinen allgemein bekannt. Magerbetriebsphasen der Brennkraftmaschine entsprechen Adsorptionsphasen des Stickoxidspeicherkatalysators, in welchen er Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) in Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) oxidiert und als Nitrate zwischenspeichert. Während kurzzeitiger, periodischer Regenerations- bzw. Desorptionsphasen wird der Stickoxidspeicherkatalysator von den eingespeicherten Nitraten befreit, indem diese zu Stickstoffdioxid und anschließend Stickstoffmonoxid umgewandelt werden. Letzteres wird dann durch geeignete Reduktionsmittel zu Stickstoff reduziert.

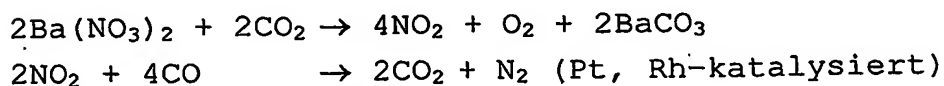
Bei diesem abwechselnden Adsorptions-/Desorptionsbetrieb sind einige Problempunkte zu beachten. So können abhängig von der Katalysatortemperatur, der Abgaszusammensetzung und der Materialzusammensetzung des Stickoxidspeicherkatalysators in der Regenerationsphase erhebliche Mengen des Schadgases Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) durch Reaktion von Wasserstoff mit Stickstoffmonoxid und/oder Stickstoffdioxid entstehen. Beim Übergang von magerer auf fette Abgasatmosphäre besteht die Gefahr eines unerwünschten Stickoxid-Durchbruchs aufgrund schlagartiger Nitratzersetzung, wenn nicht ausreichend rasch Reduktionsmittel in entsprechender Menge bereitgestellt wird. Beim Übergang

von fetter auf magere Abgasatmosphäre kann durch exotherme Verbrennungsreaktionen eine Erwärmung des Stickoxidspeicherkatalysators mit der Folge auftreten, dass bereits gebildete Nitrate wieder zersetzt und vorübergehend nicht mehr einge-  
 5 speichert werden können, was einen unerwünschten Stickoxid-Schlupf verursachen kann. Eine effiziente Stickoxidsminderung ist mit dieser NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatortechnik auf einen relativ schmalen Temperaturbereich etwa zwischen 200°C und 400°C begrenzt, da bei geringerer Temperatur die Oxidation von NO  
 10 zu NO<sub>2</sub> gehemmt ist und bei höherer Temperatur die gebildeten Nitrate nicht mehr stabil in signifikanter Menge gespeichert werden können und sich das thermodynamische Gleichgewicht zwischen NO und NO<sub>2</sub> zunehmend auf die Seite des Stickstoffmonoxids verschiebt. Erfindungsgemäß ergibt sich durch die Be-  
 15 reitstellung von Synthesegas günstigerweise eine verbesserte NO<sub>x</sub>-Regeneration bei niedrigerer Temperatur, welche sich wiederum vorteilhaft auf das Alterungsverhalten und die Effizienz des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators auswirkt.

20 Typische NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren enthalten Erdalkali- und Alkalimetalle, die für ihre Stickoxid-Speicherfähigkeit bekannt sind. Unter mageren Bedingungen werden die Stickoxide wie folgt umgesetzt:



Unter fetten Abgasbedingungen wird Stickstoffdioxid wieder aus dem Speicher desorbiert und direkt mit dem im Abgas vor-  
 30 handenen Kohlenmonoxid zu Stickoxid umgesetzt:



Die Umschaltzeiten zwischen Mager- und Fettbetrieb des Motors hängen von der eingesetzten Speichermaterialmenge, den  $\text{NO}_x$ -Emissionen und den für alle katalysierten Reaktionen typischen Parametern, wie Gasdurchsatz und Temperatur, ab.

5

Ein weiterer Problempunkt ist bei Verwendung schwefelhaltiger Kraftstoffe die sogenannte Schwefelvergiftung des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators durch Einspeichern von Sulfaten, die gegenüber den Nitraten stabiler sind und sich in den  $\text{NO}_x$ -Regenerationsphasen nicht zersetzen. Zur Sulfatentfernung werden daher üblicherweise von Zeit zu Zeit spezielle Desulfatisierungsphasen bei erhöhter Abgastemperatur und fetter Abgaszusammensetzung durchgeführt, siehe z.B. die Offenlegungsschrift DE 198 27 195 A1. Auch hier ergibt sich gemäß der Erfindung durch die Bereitstellung von Synthesegas günstigerweise beim  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator eine verbesserte Schwefel-Regeneration bzw. -entfernung bei ebenfalls niedrigerer Temperatur, welche sich wiederum vorteilhaft auf das Alterungsverhalten des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators auswirkt. Bei der Desulfatisierung kann das Schadgas Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) entstehen, dessen Emission vermieden werden sollte. Dazu wird z.B. in der Patentschrift DE 100 25 044 C1 eine Zufuhr von Sekundärluft in den Abgasstrang während der Desulfatisierungsphasen vorgeschlagen, um den Schwefelwasserstoff in einem nachgeschalteten Oxidationskatalysator zu oxidieren.

In einer entsprechenden Steuerungseinheit, die z.B. auch zur Steuerung der Verbrennungseinrichtung, wie einer Brennkraftmaschine, dienen kann, sind bevorzugt Funktionen implementiert, die über die Notwendigkeit und Möglichkeit einer gezielten  $\text{NH}_3$ -Erzeugung entscheiden und die Betriebsparameter, insbesondere die Dauer und Anfettungstiefe bei der  $\text{NSK}$ -Regeneration, geeignet vorgeben. Typischerweise kann die  $\text{NH}_3$ -Bildung durch ein kleineres Luftverhältnis und eine längere Regenerationsdauer verstärkt werden, sofern die Temperatur des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators im Bereich möglicher  $\text{NH}_3$ -Bildung liegt. Darüber hinaus kann der Betrieb der Verbrennungsein-



richtung während der NSK-Regeneration in an sich bekannter Weise so eingestellt werden, dass eine hohe  $\text{NO}_x$ -Rohemission derselben erzielt und dadurch die  $\text{NH}_3$ -Bildung am  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator weiter verstärkt wird.

5

Durch geeignete Anordnung der Komponenten kann die auftretende maximale Temperaturbelastung der einzelnen Komponenten den spezifischen Erfordernissen angepasst werden. Zudem kann durch geeignete Anordnung sichergestellt werden, dass die  
10 Temperaturen der einzelnen Komponenten im Fahrbetrieb in einem für die jeweilige Funktion günstigen Bereich liegen. Der für die Regeneration des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators erforderliche Fettbetrieb kann durch innermotorische Maßnahmen oder eine zusätzliche nachmotorische Einbringung von Reduktionsmit-  
15 teln (z.B. Kraftstoff in den Abgasstrang vor dem Reformier), im weiteren als Sekundäreinspritzung bezeichnet, realisiert werden.

Die nachmotorische Zufuhr von Reduktionsmittel stromaufwärts  
20 des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators kann auch dazu genutzt werden, bei Motorbetrieb mit magerem Abgas fette Bedingungen zur NSK-Regeneration einzustellen. Dies geschieht vorzugsweise bei Motorbetrieb zwischen  $\lambda=1.0$  und  $\lambda=1.2$ , da andernfalls die zuzuführende Reduktionsmittelmenge zu groß ist. Hierbei ergibt  
25 sich als Vorteil, dass üblicherweise im Bereich zwischen  $\lambda=1.0$  und  $\lambda=1.2$  eine hohe  $\text{NO}_x$ -Rohemission auftritt, während diese bei Luftverhältnissen  $\lambda < 1$  deutlich niedriger ist. Somit kann dieses Verfahren dazu dienen, bei der NSK-Regeneration eine hohe  $\text{NO}_x$ -Emission und damit eine starke  $\text{NH}_3$ -Bildung zu  
30 erzielen.

Zur Vermeidung hoher  $\text{CO}$ - und  $\text{HC}$ -Emissionen während NSK-Regenerationen mit  $\lambda < 1$  kann vor einem nachgeschalteten Oxidationskatalysator bei Bedarf eine Sekundärlufteinblasung erfolgen. Die Sekundärluft kann z.B. durch eine elektrisch an-  
35

getriebene Sekundärluftpumpe oder einen Kompressor bereitgestellt werden oder bei aufgeladenen Motoren nach Verdichter entnommen werden.

- 5 Ein weiteres bekanntes Abgasnachbehandlungsverfahren ist das sogenannte selektive katalytische Reduktionsverfahren, abgekürzt als SCR-Verfahren bezeichnet. Hierbei wird dem Abgas zwecks Stickoxidreduktion ein selektiv wirkendes Reduktionsmittel zugegeben, typischerweise Ammoniak. Der Ammoniak wird
- 10 in einem entsprechenden Denitrierungskatalysator, abgekürzt als SCR-Katalysator bezeichnet, zwischengespeichert und von diesem dazu verwendet, im Abgas enthaltene Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) katalytisch unter Bildung von Stickstoff und Wasser zu reduzieren. Die Effektivität von SCR-Katalysatoren ist bei niedrigeren Temperaturen stark vom Verhältnis  $\text{NO}/\text{NO}_2$  abhängig,
- 15 mit einem Effektivitätsmaximum bei einem  $\text{NO}_2$ -Anteil von ca. 50% für Temperaturen unterhalb von  $200^\circ\text{C}$  und deutlich reduzierter Effektivität bei geringerem  $\text{NO}_2$ -Anteil. Bei höheren Temperaturen oberhalb von ca.  $400^\circ\text{C}$  wird die Stickoxidreduktion durch Oxidation von Ammoniak limitiert, außerdem nimmt
- 20 mit zunehmender Temperatur die Ammoniak-Speicherkapazität des SCR-Katalysators ab. Insgesamt ergibt sich für solche SCR-Systeme ein taugliches Temperaturfenster zur effizienten Stickoxidminderung von etwa  $250^\circ\text{C}$  bis etwa  $550^\circ\text{C}$ . SCR-
- 25 Katalysatoren unterliegen einer thermischen Alterung und sollten nicht mit Temperaturen über ca.  $700^\circ\text{C}$  bis  $750^\circ\text{C}$  belastet werden. Durch das im SCR-Katalysator gespeicherte  $\text{NH}_3$  können die Magerphasen verlängert werden und führen damit vorteilhafterweise zu einer Kraftstoffeinsparung und gleichzeitig
- 30 zu einem verbesserten Alterungsverhalten des NSK-Katalysators. Es hat sich gezeigt, dass der SCR-Katalysator auch eingesetzt werden kann, um eine beispielsweise bei der Desulfatisierung entstehende  $\text{H}_2\text{S}$ -Emission zu vermeiden. Versuche haben ergeben, dass ein SCR-Katalysator aufgrund seiner
- 35 spezifischen Eigenschaften auch bei fetter Abgaszusammensetzung

zung ( $\lambda < 1$ ) bei der Desulfatisierung auftretenden Schwefelwasserstoff zu  $\text{SO}_2$  oxidieren kann. Hierdurch kann eine unangenehme Geruchsbelästigung vermieden werden.

5 Als weitere Besonderheit können SCR-Katalysatoren bei niedrigen Temperaturen unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) zwischenspeichern und diese, sofern sie Vanadiumpentoxid ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) enthalten, bei fetten Bedingungen ( $\lambda < 1$ ) auch oxidieren. Hierdurch kann üblicherweise der Reduktionsmittel-Durchbruch bei  
10 der NSK-Regeneration vermindert werden und aufgrund seiner Eigenschaft, bei niedrigen Temperaturen auch Kohlenwasserstoffe zu speichern ferner zu einer Verringerung der HC-Emissionen nach dem Kaltstart beitragen. Insbesondere die Emission von möglicherweise krebserregenden Kohlenwasserstoffen wie Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol kann verringert  
15 werden, die bei fetten Bedingungen am  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator entstehen können. Die bei niedrigen Temperaturen gespeicherten HC werden bei höheren Temperaturen wieder freigesetzt und können am SCR-Katalysator oder einem nachgeschalteten Oxidationskatalysator oxidiert werden. Die zur Oxidation von unverbrannten Kohlenwasserstoffen am SCR-Katalysator notwendigen hohen Temperaturen führen jedoch zu einer Verschlechterung des Alterungsverhaltens. Dieses kann durch die Erfindung  
20 überwunden werden, da durch den Einsatz der Reformereinheit im Vollstrom, die gleichzeitig als Reformier- oder Reformaterzeugungseinheit fungiert, kann der Synthesegasanteil im Fettebetrieb erhöht werden bei gleichzeitiger Verringerung der HC-Emissionen. Dies führt als ein weiterer Vorteil zu einem verbesserten Alterungsverhalten des SCR-Katalysators.

30

Typische SCR-Katalysatoren enthalten  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  und wenigstens eine der Komponenten aus der Gruppe Wolframoxid, Molybdänoxid, Siliciumdioxid und Zeolithe.

In einer weiteren vorteilhaften Ausbildung nach Anspruch 10 zur nachmotorischen Partikelminderung ist die Reformierungseinheit als katalytischer Rußpartikelfilter ausgebildet. Dieser katalytisch aktive Dieselpartikelfilter ist als Wand-  
5 durchströmer ausgeführt. Die Reformierungseinheit dient somit in äußerst vorteilhafter Weise gleichzeitig zum einen als Reformer, zum anderen als Partikelfilter. Dies führt neben der Anordnung im Vollstrom und dem Wegfall einer zusätzlichen Filtereinheit zu einer wesentlich kompakteren Bauweise. Durch  
10 die Kombination bzw. Integration von zwei der genannten Funktionalitäten in einem Bauteil kann außerdem eine deutliche Reduzierung des Bauraumbedarfs erzielt werden.

Dieser Partikelfilter hält die emittierten Partikel mit einer  
15 hohen Effektivität zurück. Eine Regeneration des Filters kann durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden. Da Dieseluß bei erhöhten Temperaturen abbrennt, kann man zum einen die Abgastemperaturen (z.B. durch Kraftstoffnacheinspritzung in den Abgasstrang) bzw. die Filtertemperaturen erhöhen oder zum  
20 anderen die Rußzündtemperaturen durch eine katalytische Beschichtung oder durch die Additivierung des Kraftstoffs erniedrigen auf Bereiche  $< 400^{\circ}\text{C}$ , wobei die Reduktion der Zündtemperatur zu einer Verkürzung der notwendigen Nacheinspritzzeit bzw. zu einer Reduktion der Nacheinspritzmenge führt.  
25 Eine Kombination verschiedener Regenerationsmethoden ist ebenso möglich. Generell sind beschichtete Partikelfilter im Hinblick auf Emissionen während der Regenerationsphase einer Additivierung des Kraftstoffs deutlich überlegen. Beim Abbrennen der Rußschicht, für die Abgastemperaturen oberhalb  
30 von  $550^{\circ}\text{C}$  erforderlich bilden sind, bildet sich aus dem Ruß  $\text{CO}_2$  und Wasserdampf. Soweit das den Partikelfilter erreichende Abgas  $\text{NO}_2$  enthält, erfolgt auch bereits im Temperaturbereich von etwa  $250^{\circ}\text{C}$  bis  $400^{\circ}\text{C}$  eine Rußoxidation durch Reaktion mit  $\text{NO}_2$  (CRT-Effekt).

Die gleichzeitig als Partikelfilter fungierende Reformierungseinheit enthält als Trägermaterial eines Abgaskatalysatoren einen keramischen Monolithen, beispielsweise aus Cordierit, einer Keramik mit der Summenformel  $2\text{MgO} \times 2\text{Al}_2\text{O}_3 \times 5\text{SiO}_2$ , Siliciumcarbid (SiC) oder andere geeignete Materialien. Die katalytische Beschichtung enthält im wesentlichen Trägeroxide, weitere oxidische Komponenten, wie z.B. Ceroxid und Edelmetalle, die als wässrige Beschichtung, auch Washcoat genannt, auf den keramischen Monolithen aufgebracht werden. Als Trägeroxide können beispielsweise  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , Zeolithe oder Mischungen davon verwendet werden, wobei ferner Elemente der Seltenen Erden oder Zr, auch in Form von Oxiden, zur Erhöhung der spezifischen Oberfläche vorhanden sein können. In der Praxis haben sich besonders die Edelmetalle als wirksame Katalysatoren herausgestellt, insbesondere Pt, Rh, Pd, Ir, Ru sowie Ni.

Die Aufheizung des  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysators zur Desulfatisierung sowie des Partikelfilters zur thermischen Regeneration kann durch innermotorische Maßnahmen, u.a. Kraftstoff-nacheinspritzung in den Brennraum, erfolgen. Die Regeneration des  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysators erfolgt mittels des im Reformers entstandenen  $\text{H}_2$  und CO. Neben der gezielt erhöhten Abgastemperatur führen im Abgas verbleibende, unvollständig verbrannte Kohlenwasserstoffe zu einer zusätzlichen Exothermie auf einem optional motornah angeordneten Katalysator, wodurch die Abgastemperatur weiter angehoben wird. Zusätzlich oder alternativ kann auch eine Zufuhr von Reduktionsmitteln (z.B. Kraftstoff) im Abgasstrang direkt vor der oder vor den aufzuheizenden Komponenten bzw. vor einem diesen Komponenten vorgeschalteten Oxidationskatalysator erfolgen. Dies hat den Vorteil, dass die Wärmeverluste durch Aufheizung weiterer vorgeschalteter Komponenten sowie Wärmeverluste durch Abküh-

lung in der Abgasleitung verringert werden. Hierdurch wird der Energieaufwand und damit der Kraftstoff-Mehrverbrauch für die Aufheizung auf ein Minimum beschränkt. Ein weiterer Vorteil ist, dass auf diese Weise weitere vorgeschaltete Komponenten nicht mit hohen Abgastemperaturen belastet werden und somit deren thermische Alterung auf ein Minimum beschränkt werden kann. Außerdem wird vermieden, dass weitere vorgeschaltete Komponenten, z.B. ein vorgeschalteter  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator, aufgrund der Aufheizung das für eine gute Effizienz erforderliche Temperaturfenster verlassen.

Im Fall eines katalytisch beschichteten Partikelfilters besteht ein weiterer Vorteil darin, dass die Kraftstoff-Umsetzung wegen der hohen Wärmekapazität des Partikelfilters auch beispielsweise nach längeren Schubphasen des Verbrennungsmotors mit niedriger Abgastemperatur weiterhin möglich ist. Bei einem konventionellen Katalysator besteht dagegen die Gefahr, dass aufgrund der geringen Wärmekapazität die Temperatur unter vergleichbaren Bedingungen unter die Anspringtemperatur sinkt und somit keine katalytische Umsetzung der Kohlenwasserstoffe mehr möglich ist. Generell sind statt der Zufuhr von Reduktionsmittel (z.B. Kraftstoff) vor einem Katalysator auch andere Verfahren zur Aufheizung anstelle der nachmotorischen Zufuhr von Reduktionsmittel möglich. Wie beispielsweise eine elektrische Beheizung des Partikelfilters/Reformers als in der Praxis übliche Maßnahmen zu nennen.

In einer weiteren Besonderheit nach Anspruch 4 ist im Hauptabgasstrom stromab des Reformierungsreaktors der mindestens eine Abgaskatalysator angeordnet, wobei der Abgaskatalysator die Funktionen eines  $\text{NO}_x$ -Speicher- und SCR-Katalysators aufweist. Durch die Kombination bzw. Integration beider Funktionalitäten in einem Bauteil kann wiederholt eine deutliche Reduzierung des Bauraumbedarfs erzielt werden.

In einer bevorzugten Ausbildung gemäß Anspruch 5 ist stromab hinter dem jeweils letzten Abgaskatalysator ein Oxidationskatalysator angeordnet.

- 5 In einer weiteren Ausgestaltung gemäß Anspruch 6 ist unmittelbar hinter der Reformierungseinheit in Hauptströmungsrichtung des Abgases ein Drei-Wege-Katalysator angeordnet.

- 10 In einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 7 ist im Hauptabgasstrom stromab der Reformierungseinheit der mindestens eine Abgaskatalysator angeordnet, der bevorzugt ein DENOX-Katalysator ist. Der DENOX-Katalysator kann beispielsweise als Trägermaterial Zeolith,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und/oder Perowskit enthalten, als katalytisch aktive  
15 Komponente z.B. Pt, Cu oder andere geeignete Metalle.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausbildung nach Anspruch 8 ist vor oder hinter dem DENOX-Katalysator ein  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator angeordnet.

20

- Das Verfahren zum Betreiben einer Abgasnachbehandlungseinrichtung gemäß Anspruch 11 erlaubt eine Reduzierung von Stickoxiden in Abgasen von Kraftfahrzeugen durch Reduktion an einem Katalysator, in dem Wasserstoff zugeführt wird, wobei  
25 der für die Stickoxid-Reduktion benötigte Wasserstoff an Bord des Kraftfahrzeugs durch Wasserdampfreformierung, partielle Oxidation von Kohlenwasserstoffen und/oder Mischformen davon erzeugt wird. Hierbei wird erfindungsgemäß die Reformierung direkt im Hauptabgasstrom eines Verbrennungsmotors durchgeführt.  
30 führt. Der für die Reformierung notwendige Wasserdampf und Restsauerstoff stammt bevorzugt aus dem Abgas.

- In einer Ausgestaltung des Verfahrens gemäß Anspruch 12 wird die Temperatur der Reformierungseinheit über das  
35 Luft/Kraftstoffverhältnis eingestellt, wobei die aktuelle Sauerstoffkonzentration im Abgas mit Hilfe einer Breitband-lambdasonde ermittelt wird.

In einem Verfahren nach Anspruch 13 wird erfindungsgemäß die Reformierungseinheit bei einem Luft/Kraftstoff-Verhältnis im Bereich von etwa  $0,5 < \lambda < 1,0$  betrieben.

5

Ferner wird gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens nach Anspruch 14 eine dem Reformierungsreaktor zugeführte Kraftstoffmenge innermotorisch, durch eine Sekundäreinspritzung und/oder durch eine Kombination aus beidem eingestellt.

10

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

15

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Ansprüchen und der Beschreibung hervor. Insbesondere ergeben Vorteile durch geeignete Kombination bzw. Integration von verschiedenen Katalysatorkomponenten wie nachstehend erläutert.

20

Die Erfindung ist nachstehend anhand einer Zeichnung näher beschrieben, dabei zeigen in beispielhafter und schematischer Weise:

25

Fig. 1 eine Blockdiagrammdarstellung einer Abgasnachbehandlungsvorrichtung im Vollstrom, die hintereinandergeschaltet eine Reformierungs-/Partikelfiltereinheit, einen  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator und SCR-Katalysator aufweist,

30

Fig. 2 eine Blockdiagrammdarstellung einer Abgasnachbehandlungsvorrichtung im Vollstrom, die hintereinandergeschaltet eine Reformierungs-/Partikelfiltereinheit und einen integrierten Abgaskatalysator mit  $\text{NO}_x$ -

35



Speicherkatalysator- und SCR-Katalysator-Funktion aufweist,

5 Fig. 3 eine Blockdiagrammdarstellung einer Abgasnachbehandlungsvorrichtung im Vollstrom, die hintereinandergeschaltet eine Reformierungs-/Partikelfiltereinheit, einen Drei-Wege-Katalysator, einen NO<sub>x</sub>-Speicher-

10 Fig. 4 eine Blockdiagrammdarstellung einer Abgasnachbehandlungsvorrichtung im Vollstrom, die hintereinandergeschaltet eine Reformierungs-/Partikelfiltereinheit und einen HC-DENO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator aufweist.

15 Die Abgasnachbehandlungseinrichtung von Fig. 1 beinhaltet in Abgasströmungsrichtung hinter einer Brennkraftmaschine (nicht dargestellt) im Vollstrom des Abgasstrangs 4 nacheinander eine Reformierungseinheit 1, die gleichzeitig als Partikelfilter wirkt, einen NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 2 und einen SCR-

20 Katalysator 3 als abgasreinigende Komponenten. Eine nicht näher dargestellt Steuereinheit dient zur Steuerung der Brennkraftmaschine, bei der es sich bevorzugt um einen Dieselmotor handelt, und der Abgasnachbehandlungseinrichtung. Des Weiteren können nicht weiter dargestellte Temperatursensoren, NO<sub>x</sub>-

25 Sensoren, Lambdasonden, eine Einrichtung zur Zufuhr von Sekundärluft und Drucksensoren an geeigneten Stellen des Abgasstrangs 4 angeordnet sein. Eine Einrichtung zur nachmotorischen Zufuhr von Reduktionsmittel 5, auch als Sekundäreinspritzung bezeichnet, ist stromauf der Reformierungseinheit 1

30 angeordnet.

Die Brennkraftmaschine liefert Abgas, das unter anderem NO<sub>x</sub>, Partikel, CO und HC als unverbrannte Kohlenwasserstoffe enthält. Im Magerbetrieb ( $\lambda > 1$ ) verhält sich die Reformierungs-

einheit 1 wie eine normaler Oxidationskatalysator und CO und HC werden zu CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O oxidiert. Die im Abgas vorhandenen Partikel werden im der gleichzeitig als Partikelfilter wirkenden Reformierungseinheit 1 zurückgehalten. Ein Teil der im

5 Partikelfilter angesammelten Rußpartikel wird durch Reaktion mit NO<sub>2</sub> oxidiert, wobei NO<sub>2</sub> zu NO reduziert wird. Falls nach dem NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysator 2 noch Stickoxide im Abgas enthalten sein sollten, so liegen diese meist in Form von NO vor. Im Magerbetrieb wird NO<sub>x</sub> als Nitrat im NO<sub>x</sub>-

10 Speicher-katalysator 2 gespeichert. Die Reformierungseinheit 1 liefert im Fettbetrieb ( $\lambda < 1$ ) ein CO und H<sub>2</sub>-haltiges Synthesegasgemisch mit einem verringerten HC-Gehalt. Im Fettbetrieb wird dann eingelagertes NO<sub>x</sub> desorbiert und mit Synthesegas bzw. CO und/oder HC zu N<sub>2</sub> reduziert. Daneben wird noch Ammo-

15 niak gebildet nach der Gleichung  $3,5\text{H}_2 + \text{NO}_2 \rightarrow \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ . Diese NH<sub>3</sub> kann direkt das auch im Fettbetrieb entstandene NO<sub>x</sub> an der nachfolgenden SCR-Stufe 3 nach der Gleichung  $4\text{NH}_3 + 3\text{NO}_2 \rightarrow 3,5\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$  reduzieren. Überschüssiger Ammoniak wird im SCR-Katalysator 3 adsorptiv abgespeichert. Dadurch kann

20 vorhandenes NO<sub>x</sub> bereits im Magerbetrieb teilweise umgesetzt werden. Hierdurch können die Magerphasen verlängert werden mit dem Vorteil der Kraftstoffeinsparung und einer Verbesserung des Alterungsverhaltens des NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysator 2. Optional kann nach der Reformierungseinheit und vor dem NO<sub>x</sub>-

25 Speicher-katalysator 2 eine Abgasrückführung (nicht dargestellt) vorgesehen sein. Damit kann im Fettbetrieb Reformat der motorischen Verbrennung zugeführt werden. Dies führt zu einer Verminderung der Rohemissionen und verringert gleichzeitig den Kraftstoffverbrauch. Die Temperaturregelung der

30 Reformierungseinheit 1 erfolgt im Fettbetrieb durch eine Variation des Lambdas. Für einen schnellen Kaltstart kann die Reformierungseinheit mit einer Beheizungs-funktion (z.B. elektrisch, Flammglühkerze etc.) versehen sein.

Optional kann auch die Reihenfolge von NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysator 2 und einen SCR-Katalysator 3 als abgas-reinigende Komponenten miteinander vertauscht sein, mit der Folge, dass die Reduktion von NO<sub>x</sub> am SCR-Katalysator 3 statt  
5 mit NH<sub>3</sub> mit H<sub>2</sub> bzw. Reformat stattfindet.

Ein beiden Versionen nachgeschalteter Oxidationskatalysator mit Sauerstoffspeicherfunktion setzt die bei der Umschaltung von Mager- auf Fettbetrieb noch übriggebliebenen Kohlenwas-  
10 serstoff mittels eingespeichertem O<sub>2</sub> um. Dem Oxidationskatalysator kann noch eine nicht dargestellte Einrichtung zur Zufuhr von Sekundärluft vorgeschaltet sein.

Um an den abgasreinigenden Komponenten, insbesondere am NO<sub>x</sub>-  
15 Speicher-katalysator 2 und am SCR-Katalysator 3, ausreichende Temperaturen auch bei Niedriglastbetrieb und damit eine bestmögliche NO<sub>x</sub>-Minderung zu erzielen, können Heizmaßnahmen angewendet werden. Diese können innermotorisch sein, z.B. eine Spätverlegung der Haupteinspritzung oder Nacheinspritzung in  
20 den Brennraum, oder auch nachmotorisch durch Zufuhr von Reduktionsmittel vor der Reformierungseinheit 1 zur Exothermieerzeugung, sofern der NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysator 2 eine ausreichende Temperatur zur Umsetzung des Reduktionsmittels erreicht hat. Die Abgasleitung kann ferner thermisch isoliert  
25 sein, um Wärmeverluste aus dem Abgas zu minimieren. Beispielsweise kann eine Luftspalt-Isolation verwendet werden. Weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Abgastemperatur können sein: Erhöhung der Leerlaufdrehzahl, Verlängerung der Nachglühzeit, Zuschalten zusätzlicher elektrischer Verbraucher oder  
30 eine Erhöhung der AGR-Rate. Die oben genannten Maßnahmen können beispielsweise durch eine Steuereinheit zur Steuerung von Motor bzw. Abgasreinigungskomponenten in Abhängigkeit der eingehenden Temperatur-Signale oder mittels Modell gesteuert sein. In der Steuereinheit sind beispielsweise Modelle für

die  $\text{NO}_x$ -Rohemission, das  $\text{NO}_x$ -Speicherverhalten des  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysators 2, die  $\text{NH}_3$ -Bildung am  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysator 2 und die  $\text{NH}_3$ -Speicherung im SCR-Katalysator 3 hinterlegt, in denen u.a. die Kriterien für eine  
5 ne NSK-Regeneration festgelegt sind. Auf Basis verschiedener Sensorsignale kann eine Adaption der Modelle an den aktuellen Alterungszustand der Katalysatoren erfolgen.

In regelmäßigen Abständen sind thermische Regenerationen der auch als Partikelfilter wirkenden Reformierungseinheit 1 notwendig, damit sich durch die Rußablagerungen nicht der Durchflußwiderstand erhöht und damit die Motorleistung herabgesetzt wird. Die Rußschicht wird abgebrannt, wobei sich aus dem Ruß  $\text{CO}_2$  und Wasserdampf bildet. Zur Rußverbrennung sind normalerweise Temperaturen oberhalb von  $550^\circ\text{C}$  erforderlich.  
15 Mit einem katalytisch ausgelegten Rußfilter gelingt es jedoch, die Rußzündtemperatur in den Bereich unter  $400^\circ\text{C}$  zu senken. Die Reaktion läuft ähnlich wie beim CRT-System ab, d.h. es wird  $\text{NO}$  zu  $\text{NO}_2$  umgewandelt, das mit dem Ruß reagiert. Zur Aufheizung des Partikelfilters 1 kann beispielsweise die  
20 nachmotorische Zufuhr von Reduktionsmittel genutzt werden.

Das in Fig. 2 dargestellte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von demjenigen der Fig. 1 darin, dass die Abgasreinigungskomponenten  $\text{NO}_x$ -Speicherkomponente 2 und der im Vollstrom nachfolgend angeordnete einen SCR-Katalysator 3 zu einem integrierten Abgaskatalysator 6 zusammengefasst sind. Dies hat den Vorteil, dass der Temperaturabfall in der Abgasleitung der bei hintereinandergeschalteten Katalysatoren auftritt, bei einer integrierten Lösung entfällt. Vorteilhaft  
25 ist in jedem Fall, dass durch diese Maßnahme der Bauraumbedarf erheblich reduziert ist. Außerdem erreichen beide funktionelle Komponenten nach dem Kaltstart sehr schnell die erforderliche Betriebstemperatur, so dass keine zusätzlichen Heizmaßnahmen erforderlich sind, die eine Erhöhung des Kraft-  
30

stoffverbrauchs zur Folge hätten. Im integrierten Stickoxidspeicher- und SCR-Katalysator wird ein wesentlicher Teil der im Abgas enthaltenen Stickoxide zwischengespeichert, ein übriger Teil durch dort zwischengespeicherten Ammoniak reduziert. Auch hier kann ein Oxidationskatalysator mit Sauerstoffspeicherfunktion mit einer diesem Katalysator vorgeschalteten Einrichtung zur Zufuhr von Sekundärluft nachgeschaltet sein.

Der in integrierter Form vorliegende Abgaskatalysator kann generell in Form eines als Vollextrudates ausgeführten Wabenkörpers vorliegen; das heißt, die Komponenten des Katalysators werden zu einer extrudierfähigen Masse verarbeitet und dann zu Wabenkörpern extrudiert. Ein solcher Katalysator besteht durchgehend aus Katalysatormasse und wird daher auch als Vollkatalysator bezeichnet. Im vorliegenden Fall kann die SCR-Katalysatorkomponente 3 zu einem Wabenkörper extrudiert sein und die NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysatorkomponente 2 in Form einer Beschichtung auf die Wände der Strömungskanäle aufgebracht sein. Die hierfür anzuwendenden Techniken sind dem Fachmann bekannt. Der NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysator 2 und der SCR-Katalysator 3 können jedoch auch in Form einer Beschichtung auf die Wände der Strömungskanäle von katalytisch inerten Tragkörpern in Wabenform aufgebracht sein. Die inerten Tragkörper bestehen bevorzugt aus Cordierit. In einer weiteren Ausführungsform des Katalysators werden die NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysatorkomponente 2 und die SCR-Katalysatorkomponente 3 in zwei separaten Schichten auf den inerten Tragkörper aufgebracht, wobei bevorzugt die NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysatorkomponente 2 in der unteren, direkt auf dem Tragkörper liegenden Schicht und die SCR-Katalysatorkomponente 3 in der oberen Schicht angeordnet ist, welche direkt mit dem Abgas in Kontakt tritt.

Der in Fig. 1 bereits beschriebenen Abgasnachbehandlungseinheit mit einer Reformierungseinheit 1, die gleichzeitig als Partikelfilter wirkt, einem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 2 und einem SCR-Katalysator 3 als abgasreinigende Komponenten zeigt  
5 als weitere Ausführung in dem Beispiel von Fig. 3 einen direkt dem NSK-Katalysator 2 vorgeschalteten Drei-Wege-Katalysator (TWC) 7. Dieser fungiert zum einen als zusätzlicher NH<sub>3</sub>-Erzeuger, indem er mit dem von der Reformierungseinheit 1 gelieferten H<sub>2</sub> bzw. Reformat zur Reduktion von Stick-  
10 oxiden beiträgt, zum anderen ist er aufgrund seiner Sauerstoffspeicherefunktion in der Lage, unverbrannte Kohlenwasserstoff aufzuoxidieren und trägt somit zu einer merklichen Effektivitätssteigerung des SCR-Katalysators 3 bei. Auch in diesem Ausführungsbeispiel kann der SCR-Katalysator 3 dem  
15 NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 2 vorgeschaltet sein, so daß der TWC-Katalysator 7 dem SCR-Katalysator vorgeschaltet ist. In einer weiteren Variante können die beiden Komponenten SCR-Katalysator 3 und NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator als integrierter Abgaskatalysator 6 ausgeführt sein, denen der TWC-Katalysator  
20 7 vorgeschaltet ist.

Fig. 4 zeigt eine weitere Variante einer Abgasnachbehandlungseinrichtung, in der hinter der Reformierungseinheit 1 ein HC-DENOX-Katalysator 8 im Vollstrom des Abgasstrangs  
25 nachgeordnet ist. Er ersetzt die Variante „NSK-Katalysator mit nachgeordnetem SCR-Katalysator“, wobei er die Stickoxidreduktion mittels HC katalysiert. Um den Umsatz von Stickoxiden noch zu maximieren, kann unmittelbar vor oder hinter dem HC-DENOX-Katalysator ein NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 2 angeordnet  
30 sein.

DaimlerChrysler AG

Ulla Bonn

28.03.2003

Patentansprüche

1. Abgasnachbehandlungseinrichtung an Bord eines Kraftfahrzeuges, umfassend eine Reformierungseinheit (1) zur Erzeugung von Wasserstoff durch Wasserdampfreformierung, partielle Oxidation von Kohlenwasserstoffen und/oder Mischformen davon und mindestens einen Abgaskatalysator, wobei der für die Reformierung notwendige Wasserdampf und Restsauerstoff bevorzugt aus dem Abgas stammt, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Reformierungseinheit (1) direkt im Hauptabgasstrom (4) eines Verbrennungsmotors angeordnet ist.
2. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass im Hauptabgasstrom (4) stromab der Reformierungseinheit (1) der mindestens eine Abgaskatalysator angeordnet ist, der bevorzugt ein NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (2) ist, welcher bei Durchströmung mit magerem Abgas dem Abgas Stickoxide durch Speicherung entzieht und bei Durchströmung mit reduzierendem Abgas durch Reduktion der gespeicherten Stickoxide N<sub>2</sub> erzeugt und weiterhin stromab des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (2) mindestens ein weiterer Abgaskatalysator angeordnet ist, der bevorzugt ein SCR-Katalysator (3) ist, welcher im Abgas enthaltene Stickoxide unter Verwendung von NH<sub>3</sub>, welches mittels Stickoxidspeicherkatalysator erzeugt wurde, reduziert.
3. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass im Hauptabgasstrom (4) stromab der Reformierungseinheit (1) der mindestens eine Abgaskatalysator angeordnet ist, der bevorzugt ein SCR-Katalysator (3) ist, welcher

im Abgas enthaltene Stickoxide unter Verwendung von  $\text{NH}_3$ , welches mittels Stickoxidspeicherkatalysator erzeugt wurde, reduziert und weiterhin stromab des SCR-Katalysators (3) mindestens ein weiterer Abgaskatalysator angeordnet ist, der bevorzugt ein  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator (2) ist, welcher bei Durchströmung mit magerem Abgas dem Abgas Stickoxide durch Speicherung entzieht und bei Durchströmung mit reduzierendem Abgas durch Reduktion der gespeicherten Stickoxide  $\text{N}_2$  erzeugt.

4. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Hauptabgasstrom (4) stromab der Reformierungseinheit (1) der mindestens eine Abgaskatalysator angeordnet ist, wobei der Abgaskatalysator die Funktionen eines  $\text{NO}_x$ -Speicher- und SCR-Katalysators (6) aufweist.

5. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass stromab hinter dem jeweils letzten Abgaskatalysator ein Oxidationskatalysator angeordnet ist.

6. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass unmittelbar hinter der Reformierungseinheit in Hauptströmungsrichtung des Abgases ein Drei-Wege-Katalysator (7) angeordnet ist.

7. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Hauptabgasstrom (4) stromab der Reformierungseinheit (1) der mindestens eine Abgaskatalysator angeordnet ist, der bevorzugt ein  $\text{DENOX}$ -Katalysator (8) ist.



8. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach Anspruch 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass vor oder hinter dem DENOX-Katalysator (8) ein NO<sub>x</sub>-  
Speicherkatalysator (2) angeordnet ist.

5

9. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche  
1 bis 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass nach der Reformierungseinheit (1) eine Abgasrückfüh-  
rung vorgesehen ist.

10

10. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche  
1 bis 9,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Reformierungseinheit (1) als katalytisch aktiver  
Rußpartikelfilter ausgebildet ist.

15

11. Verfahren zum Betreiben einer Abgasnachbehandlungsein-  
richtung nach Anspruch 1 zur Reduzierung von Stickoxiden  
in Abgasen von Kraftfahrzeugen durch Reduktion an einem  
Katalysator unter Zuführung von Wasserstoff, wobei der  
für die Stickoxid-Reduktion benötigte Wasserstoff an Bord  
des Kraftfahrzeugs durch Wasserdampfreformierung, par-  
tielle Oxidation von Kohlenwasserstoffen und/oder Misch-  
formen davon erzeugt wird, wobei der für die Reformierung  
notwendige Wasserdampf und Restsauerstoff aus dem Abgas  
stammt, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Reformierung direkt im Hauptabgasstrom (4) eines  
Verbrennungsmotors durchgeführt wird.

20

25

30

12. Verfahren nach Anspruch 11,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Temperatur der Reformierungseinheit (1) über das  
Luft/Kraftstoffverhältnis eingestellt wird, wobei die ak-  
tuelle Sauerstoffkonzentration im Abgas mit Hilfe einer  
Breitbandlambdasonde ermittelt wird.

35

13. Verfahren nach Anspruch 12,  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Reformierungseinheit (1) bei einem Luft/Kraft-  
stoffverhältnis im Bereich von etwa  $0,5 < \lambda < 1,0$  betrie-  
ben wird.

5

14. Verfahren nach Anspruch 13,  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine der Reformierungseinheit (1) zugeführte Kraft-  
stoffmenge innermotorisch, durch eine Sekundäreinsprit-  
zung (5) und/oder durch eine Kombination aus beidem ein-  
gestellt wird.

10

15

DaimlerChrysler AG

Ulla Bonn  
28.03.2003Zusammenfassung

Die erfindungsgemäße Abgasnachbehandlungseinrichtung mit einer Reformierungseinheit zur Erzeugung von Wasserstoff durch Wasserdampfreformierung, partielle Oxidation von Kohlenwasserstoffen und/oder Mischformen davon zeichnet sich dadurch aus, dass die Reformierungseinheit direkt im Hauptabgasstrom eines Verbrennungsmotors angeordnet ist. Der für die Reformierung notwendige Wasserdampf und Restsauerstoff stammen bevorzugt aus dem Abgas. Die Bereitstellung der erforderlichen Reduktionsmittel besteht darin, die vorwiegend mager betriebene Verbrennungseinrichtung, deren Abgas nachbehandelt wird, kurzzeitig auf Fettbetrieb umzustellen, wodurch eine Reformierung mittels erfindungsgemäßen Reformierungsreaktor mit den im Abgas vorhandenen Kohlenwasserstoffen ermöglicht wird.

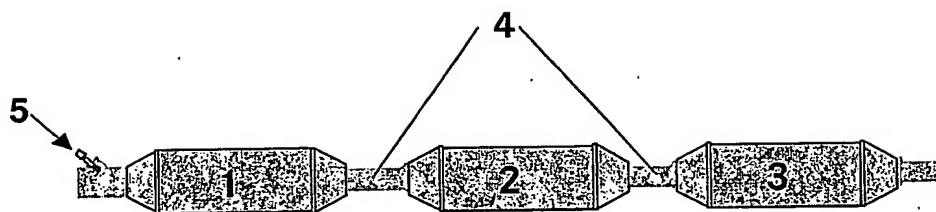


Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4